

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-213340

(43)Date of publication of application : 07.08.2001

(51)Int.Cl.

B62D 6/00  
 // B62D101:00  
 B62D111:00  
 B62D113:00  
 B62D119:00  
 B62D137:00

(21)Application number : 2000-022690

(71)Applicant : KOYO SEIKO CO LTD

(22)Date of filing : 31.01.2000

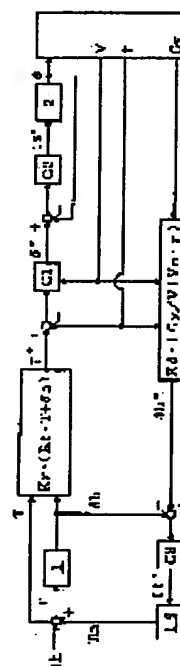
(72)Inventor : NISHIZAKI KATSUTOSHI  
 NAKANO SHIRO  
 TAKAMATSU TAKANOBU  
 SEGAWA MASAYA

## (54) STEERING DEVICE FOR VEHICLE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a steering device for a vehicle capable of preventing the instability of vehicle operation and lowering of the steering feeling in a vehicle using a steer by wire system.

SOLUTION: Operation of a steering actuator 2 driven in response to the rotating operation of an operating member 1 is transmitted to wheels so as to change the steering angle  $\delta$  without mechanically connecting the operating member 1 to wheels. The load torque  $T$  obtained by overlapping the generation control torque  $T_m$  with the operation torque by a driver and a target yaw rate  $\gamma^*$  corresponding to the steering angle  $\delta h$  of the operating member 1 are computed. The steering actuator 2 is controlled so that the yaw rate  $\gamma$  of the vehicle coincides with the target yaw rate  $\gamma^*$ . A steering actuator 19 is controlled so that the steering angle  $h$  coincides with a target steering angle  $\delta h^*$  of the operating member 1 corresponding to the operation index value including at least the yaw rate of the vehicle.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

16.01.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
 examiner's decision of rejection or application converted  
 registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
 rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of  
 rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-213340

(P2001-213340A)

(43)公開日 平成13年8月7日(2001.8.7)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード(参考)
B 6 2 D 6/00		B 6 2 D 6/00	3 D 0 3 2
// B 6 2 D 101:00		101:00	
111:00		111:00	
113:00		113:00	
119:00		119:00	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-22690(P2000-22690)

(22)出願日 平成12年1月31日(2000.1.31)

(71)出願人 000001247

光洋精工株式会社

大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号

(72)発明者 西崎 勝利

大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号

光洋精工株式会社内

(72)発明者 中野 史郎

大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号

光洋精工株式会社内

(74)代理人 100095429

弁理士 根本 進

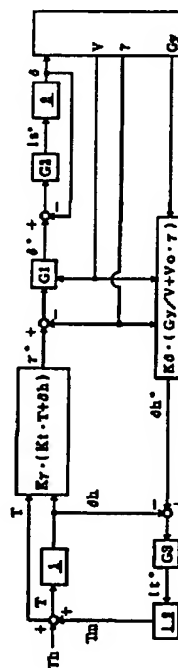
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 車両用操舵装置

## (57)【要約】

【課題】ステアバイワイヤシステムを採用した車両において、車両挙動が不安定になったり操舵フィーリングが低下するのを防止する車両用操舵装置を提供する。

【解決手段】操作部材1の回転操作に応じて駆動される操舵用アクチュエータ2の動きを、操作部材1を車輪に機械的に連結することなく舵角 $\delta$ が変化するように車輪に伝達する。操作用アクチュエータ19の発生制御トルク $T_m$ とドライバーの操作トルク $T_h$ とを重畳した負荷トルク $T$ と、その負荷トルク $T$ の作用による操作部材1の操作角 $\delta_h$ とに応じた目標ヨーレート $\gamma^*$ を演算する。車両のヨーレート $\gamma$ が目標ヨーレート $\gamma^*$ に追従するように操舵用アクチュエータ2を制御する。少なくとも車両のヨーレート $\gamma$ を含む挙動指標値に対応する操作部材1の目標操作角 $\delta_{h^*}$ に操作角 $\delta_h$ が追従するように操作用アクチュエータ19を制御する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】回転操作される操作部材と、その操作部材の操作に応じて駆動される操舵用アクチュエータと、その操作部材を車輪に機械的に連結することなく、その操舵用アクチュエータの動きに応じて舵角が変化するように、その動きを車輪に伝達する手段と、その操作部材に作用する制御トルクを発生する操作用アクチュエータと、その制御トルクとドライバーによる前記操作部材の操作トルクとを重畳した負荷トルクを求める手段と、その負荷トルクの作用による操作部材の操作角を求める手段と、その求めた負荷トルクと操作角とに応じた目標ヨーレートを、その負荷トルクと操作角と目標ヨーレートとの間の記憶した関係に基づき演算する手段と、車両の挙動変化に対応する挙動指標値として、少なくとも車両のヨーレートを含む値を求める手段と、その求めたヨーレートが前記目標ヨーレートに追従するように、前記操舵用アクチュエータを制御する手段と、その求めた挙動指標値に応じた前記操作部材の目標操作角を、その挙動指標値と目標操作角との間の記憶した関係に基づき演算する手段と、その演算した目標操作角に前記求めた操作角が追従するように、前記操作用アクチュエータを制御する手段とを備える車両用操舵装置。

【請求項 2】前記挙動指標値としてヨーレートに加えて横加速度と車速とが求められ、前記目標操作角は、その横加速度を車速で除した値に対応する成分と、ヨーレートの値に対応する成分とを有し、その目標操作角におけるヨーレートに対応する成分の比率は、車速に応じて変化する請求項 1 に記載の車両用操舵装置。

【請求項 3】その目標操作角における横加速度を車速で除した値に対応する成分と、ヨーレートの値に対応する成分とが等しくなる時の車速が、設定変更可能とされている請求項 2 に記載の車両用操舵装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、いわゆるステアバイワイヤシステムを採用した車両用操舵装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ステアバイワイヤシステムを採用した車両用操舵装置においては、ステアリングホイールを模した操作部材の操作に応じた操舵用アクチュエータの動きを、その操作部材を車輪に機械的に連結することなく、舵角が変化するようにその車輪に伝達する。このようなステアバイワイヤシステムを採用した車両において、車両挙動が安定化するように、その操作部材の操作量に応じた目標ヨーレートを演算し、その目標ヨーレートが実際のヨーレートに一致するように操舵用アクチュエータを制御することが提案されている。

【0003】図 13 は、従来のステアバイワイヤシステムを採用した車両用操舵装置の制御ブロック線図の一例を示す。その制御ブロック線図において、K1 は、操作

部材 101 の操作角  $\delta h$  に対する目標ヨーレート  $\gamma^*$  のゲインであり、操舵装置は記憶した  $\gamma^* = K1 \cdot \delta h$  の関係と、センサにより検出した操作角  $\delta h$  とから目標ヨーレート  $\gamma^*$  を演算する。K2 は、目標ヨーレート  $\gamma^*$  と車両 100 の実際のヨーレート  $\gamma$  との偏差に対する目標舵角  $\delta^*$  のゲインであり、操舵装置は記憶した  $\delta^* = K2 \cdot (\gamma^* - \gamma)$  の関係と、演算した目標ヨーレート  $\gamma^*$  と、センサにより検出したヨーレート  $\gamma$  とから目標舵角  $\delta^*$  を演算する。そのゲイン K2 は車速 V の関数とされ、高車速での安定性確保のために車速 V の増大に伴いゲイン K2 は減少するように設定される。Ga は目標舵角  $\delta^*$  と実際の車両の舵角  $\delta$  との偏差に対する操舵用アクチュエータ 102 の目標駆動電流  $i a^*$  の伝達関数であり、操舵装置は記憶した  $i a^* = Ga \cdot (\delta^* - \delta)$  の関係と、演算した目標舵角  $\delta^*$  と、センサにより検出した舵角  $\delta$  とから目標駆動電流  $i a^*$  を演算する。その伝達関数 Ga は、例えば比例積分 (PI) 制御が行われるように設定される。K3 は操作部材 101 の操作角  $\delta h$  に対する目標操作トルク  $T h^*$  のゲインであり、操舵装置は記憶した  $T h^* = K3 \cdot \delta h$  の関係と、センサにより検出した操作角  $\delta h$  とから目標操作トルク  $T h^*$  を演算する。Gb は目標操作トルク  $T h^*$  と実際の操作トルク  $T h$  との偏差に対する操作用アクチュエータ 103 の目標駆動電流  $i b^*$  の伝達関数であり、操舵装置は記憶した  $i b^* = Gb \cdot (T h^* - T h)$  の関係と、演算した目標操作トルク  $T h^*$  と、センサにより検出した操作トルク  $T h$  とから目標駆動電流  $i b^*$  を演算する。その伝達関数 Gb は、例えば比例積分 (PI) 制御が行われるように設定される。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の構成では、路面凍結等により路面と車輪との間の摩擦係数が低下したような場合や、タイヤ横力が限界に至ったような場合、車両の実際のヨーレート  $\gamma$  が増加しないため、操作トルク  $T h$  を増大するとヨーレート  $\gamma$  が目標ヨーレート  $\gamma^*$  に達することのない飽和状態になり、舵角  $\delta$  が発散して車両挙動が不安定になるおそれがある。

【0005】すなわち、図 14 の (1)、(2) は、上記従来のステアバイワイヤシステムを構成する操舵装置において、車速 60 km/時で走行する車両における時間  $t1 \sim t2$  (0.5~5 秒) での 2.7 N・m の操作トルク  $T h$  のステップ入力に対するヨーレート  $\gamma$  と目標ヨーレート  $\gamma^*$  と舵角  $\delta$  の時間変化を示すシミュレーション結果の一例であり、車両と路面との間の摩擦係数は  $t3$  (2.5 秒) までは 1 とし、その後は 0.1 とした。その摩擦係数の低下によりヨーレート  $\gamma$  と目標ヨーレート  $\gamma^*$  との偏差が拡大して舵角  $\delta$  が発散するのが示されている。

【0006】また、図 15 の (1)、(2) は、上記従来のステアバイワイヤシステムを構成する操舵装置にお

いて、車速20km/時で走行する場合の操作トルク入力に対するヨーレートの周波数応答シミュレーションの一例を示すボード線図を示す。また、図15の

(3)、(4)は、ステアリングホイールと車輪とが機械的に連結された従前の操舵装置において、車速20km/時で走行する場合の操作トルク入力に対するヨーレートの周波数応答シミュレーションの一例を示すボード線図である。図15の(1)～(4)より、従来のステアバイワイヤシステムを採用した車両用操舵装置においては、ステアリングホイールと車輪とが機械的に連結された操舵装置に比べて、低速走行時は操作トルク入力に対するヨーレートの応答性が低下するのが示されている。

【0007】本発明は、上記問題を解決することのできる車両用操舵装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の車両用操舵装置は、回転操作される操作部材と、その操作部材の操作に応じて駆動される操舵用アクチュエータと、その操作部材を車輪に機械的に連結することなく、その操舵用アクチュエータの動きに応じて舵角が変化するように、その動きを車輪に伝達する手段と、その操作部材に作用する制御トルクを発生する操作用アクチュエータと、その制御トルクとドライバーによる前記操作部材の操作トルクとを重畳した負荷トルクを求める手段と、その負荷トルクの作用による操作部材の操作角を求める手段と、その求めた負荷トルクと操作角とに応じた目標ヨーレートを、その負荷トルクと操作角と目標ヨーレートとの間の記憶した関係に基づき演算する手段と、車両の挙動変化に対応する挙動指標値として、少なくとも車両のヨーレートを含む値を求める手段と、その求めたヨーレートが前記目標ヨーレートに追従するように、前記操舵用アクチュエータを制御する手段と、その求めた挙動指標値に応じた前記操作部材の目標操作角を、その挙動指標値と目標操作角との間の記憶した関係に基づき演算する手段と、その演算した目標操作角に前記求めた操作角が追従するように、前記操作用アクチュエータを制御する手段とを備える。本発明の構成によれば、ドライバーにより入力される操作トルクに、操作用アクチュエータにより出力される制御トルクを重畳した負荷トルクによって、操作部材に操作角が生じる。その制御トルクは、その操作角と目標操作角との偏差をなくすように作用する。よって、その操作角が目標操作角に達していない場合、その制御トルクは操作部材の操作補助力として作用し、目標操作角を超えている場合、その制御トルクは操作部材の操作反力として作用する。その操作角と負荷トルクとに応じた目標ヨーレートにヨーレートが追従するように操舵用アクチュエータが制御される。その操舵用アクチュエータの制御によりヨーレートを含む車両挙動指標値が変化する。そのヨーレートを含む車両挙動指標値に目

標操作角は対応し、その操作角は目標ヨーレートに対応する。よって、ヨーレートが目標ヨーレートに達していない場合、操作角は目標操作角を超えるので、上記のように操作反力が作用する。これにより、路面と車輪との間の摩擦係数の低下や、タイヤ横力が限界に至ったため、操作トルクを増大させてもヨーレートが増加しない場合、操作反力を作用させることができる。この時、ドライバーが操作トルクをさらに増大させても、その操作反力の増大により操作トルクの増大を相殺でき、操作部材に作用する負荷トルクを略一定に保つことができ、負荷トルクと操作角に応じた目標ヨーレートが増大することはない。すなわち、その操作反力により操作角および負荷トルク、ひいては目標ヨーレートを抑制できるので、舵角が発散するのを防止し、車両挙動を安定化させることができる。また、操作入力に対する操舵用アクチュエータの応答遅れにより、ヨーレートの目標ヨーレートへの追従遅れが生じた場合、やはり操作反力が作用するので、その操舵用アクチュエータの作動遅れによる違和感を緩和でき、操舵フィーリングを向上できる。

【0009】前記挙動指標値としてヨーレートに加えて横加速度と車速とが求められ、前記目標操作角は、その横加速度を車速で除した値に対応する成分と、ヨーレートの値に対応する成分とを有し、その目標操作角におけるヨーレートに対応する成分の比率は、車速に応じて変化するのが好ましい。さらに、車速の増大により増大するのが好ましい。これにより、挙動指標値に対応する目標操作角に応じた制御において、低車速では横加速度の影響を大きくし、車速の増大に伴いヨーレートの影響を大きくすることで、低車速ではヨーレートが小さくなるという車両挙動特性に対応した制御を行うことができる。さらに、その目標操作角における横加速度を車速で除した値に対応する成分と、ヨーレートの値に対応する成分とが等しくなる時の車速が、設定変更可能とされることにより、より車両挙動特性に対応した制御を行うことができる。

【0010】

【発明の実施の形態】図1に示す車両用操舵装置は、ステアリングホイールを模した操作部材1と、その操作部材1の回転操作に応じて駆動される操舵用アクチュエータ2と、その操舵用アクチュエータ2の動きを、その操作部材1を車輪4に機械的に連結することなく、その動きに応じて舵角が変化するように操舵用前方左右車輪4に伝達するステアリングギヤ3とを備える。

【0011】その操舵用アクチュエータ2は、例えば公知のブラシレスモータ等の電動モータにより構成できる。そのステアリングギヤ3は、その操舵用アクチュエータ2の出力シャフトの回転運動をステアリングロッド7の直線運動に変換する運動変換機構を有する。そのステアリングロッド7の動きがタイロッド8とナックルアーム9を介して車輪4に伝達され、その車輪4のトー角

10

20

30

40

50

が変化する。そのステアリングギヤ3は、公知のものを  
用いることができ、操舵用アクチュエータ2の動きを舵  
角が変化するように車輪4に伝達できれば構成は限定さ  
れない。なお、操舵用アクチュエータ2が駆動されてい  
ない状態では、車輪4がセルフアライニングトルクによ  
り直進操舵位置に復帰できるようにホイールアラインメ  
ントが設定されている。

【0012】その操作部材1は、車体側により回転可能  
に支持される回転シャフト10に連結されている。その  
操作部材1に作用する制御トルクを発生する操作用アク  
チュエータ19が設けられている。その操作用アクチュ  
エータ19は、その回転シャフト10と一体の出力シャ  
フトを有するブラシレスモータ等の電動モータにより構  
成できる。

【0013】その操作部材1を直進操舵位置に復帰させ  
る方向の弾力を付与する弾性部材30が設けられてい  
る。この弾性部材30は、例えば、回転シャフト10に  
弾力を付与するバネにより構成できる。上記操作用アク  
チュエータ19が回転シャフト10にトルクを付加してい  
ない時、その弾力により操作部材1は直進操舵位置に  
復帰できる。

【0014】その制御トルクとドライバーによる操作部  
材1の操作トルクとを重畳した負荷トルクの作用による  
操作部材1の操作角として、その回転シャフト10の操  
作角を検出する角度センサ11が設けられている。その  
操作部材1に車両のドライバーが作用させる操作トルク  
として、その回転シャフト10により伝達されるトルク  
を検出するトルクセンサ12が設けられている。車両の  
舵角を検出する舵角センサ13が、その舵角に対応する  
ステアリングロッド7の作動量を検出するポテンショメ  
ータにより構成されている。車両の挙動変化に対応する  
車両の挙動指標値として車速を検出する速度センサ14  
が設けられている。その挙動指標値として横加速度を検  
出する横加速度センサ15が設けられている。その挙動  
指標値としてヨーレートを検出するヨーレートセンサ1  
6が設けられている。その操作用アクチュエータ19が  
発生する制御トルク $T_m$ に対応する値として、その操  
作用アクチュエータ19の負荷電流を検出する電流センサ  
19aが設けられている。

【0015】その角度センサ11、トルクセンサ12、  
舵角センサ13、速度センサ14、横加速度センサ1  
5、ヨーレートセンサ16、電流センサ19aは、コン  
ピュータにより構成される制御装置20に接続される。  
その制御装置20は、駆動回路22、23を介して操舵  
用アクチュエータ2と操作用アクチュエータ19を制御  
する。

【0016】図2は上記構成の制御ブロック線図を示  
し、図中記号は以下の通りである。

$\delta h$  : 操作部材1の操作角

$\delta h^*$  : 操作部材1の目標操作角

$\delta$  : 舵角センサ13により検出される舵角

$\delta^*$  : 目標舵角

$T_h$  : トルクセンサ12により検出されるドライバーの  
操作トルク

$T_m$  : 操作用アクチュエータ19が発生する制御トルク

$T$  : 操作部材1の負荷トルク

$\gamma^*$  : 目標ヨーレート

$\gamma$  : ヨーレートセンサ16により検出される車両のヨー  
レート

$V$  : 速度センサ14により検出される車速

$G_y$  : 横加速度センサ15により検出される車両の横加  
速度

$i s^*$  : 操舵用アクチュエータ2の目標駆動電流

$i t^*$  : 操作用アクチュエータ19の目標駆動電流

【0017】その制御装置20は、その操作トルク $T_h$   
と制御トルク $T_m$ とを重畳した負荷トルク $T$ を演算す  
る。その操作トルク $T_h$ は上記トルクセンサ12により  
検出され、その制御トルク $T_m$ は上記電流センサ19a  
により検出される負荷電流に基づき演算される。

【0018】その制御装置20は、その負荷トルク $T$ と  
操作角 $\delta h$ と目標ヨーレート $\gamma^*$ との間の予め定められ  
た関係を記憶し、その記憶した関係に基づき、上記演算  
した負荷トルク $T$ と、検出操作角 $\delta h$ とに応じた目標ヨ  
ーレート $\gamma^*$ を演算する。本実施形態では、その予め  
定められた関係は、 $K_\gamma$ 、 $K_t$ を比例係数として、以下の  
関係式として記憶される。

$$\gamma^* = K_\gamma \cdot (K_t \cdot T + \delta h)$$

その比例係数 $K_\gamma$ 、 $K_t$ は最適な制御を行えるように設  
定される。

【0019】その制御装置20は、その目標ヨーレート  
 $\gamma^*$ とヨーレート $\gamma$ と目標舵角 $\delta^*$ との間の予め定められ  
た関係を記憶し、その記憶した関係に基づき、上記演  
算した目標ヨーレート $\gamma^*$ と、検出ヨーレート $\gamma$ とに応  
じた目標舵角 $\delta^*$ を演算する。本実施形態では、その予  
め定められた関係は、目標ヨーレート $\gamma^*$ と検出ヨー  
レート $\gamma$ との偏差 $(\gamma^* - \gamma)$ に対する目標舵角 $\delta^*$ の伝  
達関数 $G_1$ とされ、 $K_a$ を比例ゲイン、 $K_b$ を積分ゲイ  
ン、 $s$ をラプラス演算子として、PI制御がなされるよ  
うに、 $G_1 = (K_a + K_b/s)$ とされる。すなわち以  
下の関係式が制御装置20に記憶される。

$$\delta^* = G_1 \cdot (\gamma^* - \gamma)$$

各ゲイン $K_a$ 、 $K_b$ は最適な制御を行えるように設定さ  
れ、本実施形態では車速の関数とされ、高車速での安定  
性確保のために車速 $V$ の増大に伴いゲイン $K_a$ 、 $K_b$ は  
減少するように設定される。

【0020】その制御装置20は、その目標舵角 $\delta^*$ と  
舵角 $\delta$ と操舵用アクチュエータ2の目標駆動電流 $i s^*$   
との間の予め定められた関係を記憶し、その記憶した関  
係に基づき、上記演算した目標舵角 $\delta^*$ と、検出舵角 $\delta$   
とに応じた目標駆動電流 $i s^*$ を演算する。その目標駆

動電流  $i_s^*$  に応じて操舵用アクチュエータ2が駆動されることで舵角  $\delta$  が変化する。本実施形態では、その予め定められた関係は、目標舵角  $\delta^*$  と検出舵角  $\delta$  との偏差  $(\delta^* - \delta)$  に対する目標駆動電流  $i_s^*$  の伝達関数  $G2$  とされ、 $K_d$  を比例ゲイン、 $K_e$  を積分ゲイン、 $s$  をラプラス演算子として、PI制御がなされるように、 $G2 = (K_d + K_e/s)$  とされる。すなわち以下の関係式が制御装置20に記憶される。

$$i_s^* = G2 \cdot (\delta^* - \delta)$$

各ゲイン  $K_d$ 、 $K_e$  は最適な制御を行えるように設定される。

【0021】その制御装置20は、目標操作角  $\delta h^*$  と車両の挙動指標値であるヨーレート  $r$ 、横加速度  $G_y$ 、車速  $V$  との間の予め定められた関係を記憶し、その記憶した関係に基づき、検出ヨーレート  $r$  と検出横加速度  $G_y$  と検出車速  $V$  とに応じた目標操作角  $\delta h^*$  を演算する。本実施形態では、その予め定められた関係は、 $K_\delta$  を比例定数、 $V_o$  をクロスオーバー速度として、以下の関係式として記憶される。

$$\delta h^* = K_\delta \cdot (G_y/V + V_o \cdot r)$$

すなわち、その目標操作角  $\delta h^*$  は、その横加速度  $G_y$  を車速  $V$  で除した値に対応する成分  $K_\delta \cdot G_y/V$  と、ヨーレート  $r$  の値に対応する成分  $K_\delta \cdot V_o \cdot r$  とを有し、その目標操作角  $\delta h^*$  におけるヨーレート  $r$  に対応する成分の比率は、車速  $V$  の増大により増大する。その比例係数  $K_\delta$  は最適な制御を行えるように設定される。

【0022】そのクロスオーバー速度  $V_o$  は制御におけるヨーレート依存率を表す。すなわち、図3において矢印40で示す方向に車速  $V$  で旋回する車両100に、矢印41で示す方向に作用する横加速度  $G_y$  と、矢印42で示す方向に作用するヨーレート  $r$  との関係は、車両100が定常旋回状態であるとみなすと近似的に  $r = G_y/V$  である。また、図4の(1)に示すようにオーバーステア状態の横滑りした車両100や、図4の(2)に示すようにアンダーステア状態の横滑りした車両100において、その車両100の前後方向に沿う1点鎖線で示す車体中心線と、横滑りがなかった場合に車両100が進行する破線で示す方向とがなす角を車両の横滑り角  $\beta$  とした場合、横滑り角  $\beta$  は近似的に  $(G_y/V - r)$  の時間積分値、すなわち、 $\beta = \int (G_y/V - r) dt$  により求められる。よって、定常旋回状態における車体の横滑り角  $\beta$  が正から負に変わる車速を  $V_{ss}$  とすると、定常状態に至るまでの横滑り角速度  $d\beta/dt (= G_y/V - r)$  の符号も  $V_{ss}$  を境に変化する。すなわち過渡状態において、車速が  $V_{ss}$  より低速側では  $G_y/V > r$ 、高速側では  $G_y/V < r$  である。従って、その目標操作角  $\delta h^*$  の演算式において  $V_o = 1$  であれば、目標操作角  $\delta h^*$  に応じた制御は、車速が  $V_{ss}$  よりも低速ではヨーレートよりも横加速度に大きく依存し、車速が  $V_{ss}$  よりも高速では横加速度よりもヨーレートに大きく依

存する。例えば、 $V_o = 1$  であれば、車速増大時に目標操作角  $\delta h^*$  に応じた制御が横加速度依存型からヨーレート依存型に切り替わる車速、すなわち、その目標操作角  $\delta h^*$  における横加速度  $G_y$  を車速  $V$  で除した値に対応する成分  $K_\delta \cdot G_y/V$  と、ヨーレート  $r$  の値に対応する成分  $K_\delta \cdot V_o \cdot r$  とが等しくなる時の車速（以下、ヨーレート依存車速  $V_c$ ）が  $V_{ss}$  に等しくなる。また、 $V_o > 1$  であれば  $V_c > V_{ss}$  となり、 $V_o < 1$  であれば  $V_c < V_{ss}$  となる。本実施形態では、そのクロスオーバー速度  $V_o$  が最適な制御を行えるように設定変更されることで、そのヨーレート依存車速  $V_c$  が設定変更可能とされている。

【0023】その制御装置20は、その目標操作角  $\delta h^*$  と操作角  $\delta h$  と操作用アクチュエータ19の目標駆動電流  $i_t^*$  との間の予め定められた関係を記憶し、その記憶した関係に基づき、上記演算した目標操作角  $\delta h^*$  と、検出操作角  $\delta h$  とに応じた目標駆動電流  $i_t^*$  を演算する。その目標駆動電流  $i_t^*$  に応じて操作用アクチュエータ19が駆動されることで制御トルク  $T_m$  が発生する。本実施形態では、その予め定められた関係は、目標操作角  $\delta h^*$  と検出操作角  $\delta h$  との偏差  $(\delta h^* - \delta h)$  に対する目標駆動電流  $i_t^*$  の伝達関数  $G3$  とされ、 $K_g$  を比例ゲイン、 $K_h$  を積分ゲイン、 $s$  をラプラス演算子として、PI制御がなされるように、 $G3 = (K_g + K_h/s)$  とされる。これにより以下の式が成立する。すなわち以下の関係式が制御装置20に記憶される。

$$i_t^* = G3 \cdot (\delta h^* - \delta h)$$

各ゲイン  $K_g$ 、 $K_h$  は最適な制御を行えるように設定される。各ゲイン  $K_g$ 、 $K_h$  を車速の関数とし、車速  $V$  の増大に伴いゲイン  $K_g$ 、 $K_h$  が増大するように設定し、高速時に操作部材1を操作するのに要する操作トルク  $T_h$  を大きくすることで、安定性の向上を図るようにしてもよい。

【0024】図5のフローチャートを参照して上記制御装置20による制御手順を説明する。まず、各センサによる検出データを読み込む（ステップ1）。次に、求めた操作トルク  $T_h$  と制御トルク  $T_m$  とを重畳した負荷トルク  $T$  を演算し（ステップ2）、その演算した負荷トルク  $T$  と求めた操作角  $\delta h$  とに応じた目標ヨーレート  $r^*$  を、記憶した  $r^* = K_r \cdot (K_t \cdot T + \delta h)$  の関係から演算する（ステップ3）。その演算した目標ヨーレート  $r^*$  と求めたヨーレート  $r$  との偏差に応じた目標舵角  $\delta^*$  を、記憶した  $\delta^* = G1 \cdot (r^* - r)$  の関係から演算する（ステップ4）。その演算した目標舵角  $\delta^*$  と求めた舵角  $\delta$  との偏差に応じた操舵用アクチュエータ2の目標駆動電流  $i_s^*$  を、記憶した  $i_s^* = G2 \cdot (\delta^* - \delta)$  の関係から演算し（ステップ5）、舵角  $\delta$  が目標舵角  $\delta^*$  に対応するように、その目標駆動電流  $i_s^*$  に応じて操舵用アクチュエータ2を駆動する。これによ

り、その求めたヨーレート $\gamma$ が目標ヨーレート $\gamma^*$ に追従するように操舵用アクチュエータ2が制御される(ステップ6)。次に、求められたヨーレート $\gamma$ と横加速度 $G_y$ と車速 $V$ とに応じた目標操作角 $\delta h^*$ を、記憶した $\delta h^* = K\delta \cdot (G_y/V + V_0 \cdot \gamma)$ の関係から演算する(ステップ7)。その演算した目標操作角 $\delta h^*$ と求めた操作角 $\delta h$ との偏差に応じた操作用アクチュエータ19の目標駆動電流 $i t^*$ を、記憶した $i t^* = G3 \cdot (\delta h^* - \delta h)$ の関係から演算し(ステップ8)、その目標駆動電流 $i t^*$ に応じて操作用アクチュエータ19を駆動することで制御トルク $T_m$ を発生させる。これにより、その求めた操作角 $\delta h$ が演算した目標操作角 $\delta h^*$

$$\gamma = K\gamma \cdot (Kt \cdot T + \delta h)$$

$$\delta h = K\delta \cdot (G_y/V + V_0 \cdot \gamma)$$

また、定常旋回状態では、操作部材1を直進操舵位置に復帰させる弾性部材30のばね定数を $K_s$ として、近似的に $T = K_s \cdot \delta h$ 、 $G_y/V = \gamma$ であるから、これら※

$$\gamma = K\gamma \cdot (Kt \cdot K_s + 1) \cdot \delta h$$

$$\delta h = K\delta \cdot (V_0 + 1) \cdot \gamma$$

これにより、例えば、 $K_s = 3.183 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ 、 $Kt = 0.5$ 、 $V_0 = 1.0$ 、 $\gamma / \delta h = 0.2222$ とすると、式(3)、(4)より、 $K\gamma = 0.0857$ 、 $K\delta = 2.25$ に設定される。この場合、式(1)より、操作量が $\pi/2 \text{ rad}$ でヨーレートが $\pi/9 \text{ rad/sec}$ となる時の負荷トルク $T$ は $5 \text{ N} \cdot \text{m}$ となる。

【0026】図6の(1)～図8の(3)は、上記構成の操舵装置における負荷トルクに対するヨーレート $\gamma$ の周波数応答シミュレーションの一例を示すボード線図とナイキスト線図であり、図6の(1)～(3)は車速が $20 \text{ km/h}$ 時、図7の(1)～(3)は車速が $60 \text{ km/h}$ 時、図8の(1)～(3)は車速が $100 \text{ km/h}$ 時の場合を示す。ここで、操作部材1の慣性モーメント $I_s = 0.04 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 、粘性抵抗 $C_s = 1.0 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}$ 、弾性部材30のばね定数 $K_s = 3.183 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ とした。また、伝達関数 $G1 = G\delta \cdot (0.1 + 5/s)$ であって車速 $20 \text{ km/h}$ の時に $G\delta = 0.28$ 、車速 $60 \text{ km/h}$ の時に $G\delta = 0.19$ 、車速 $100 \text{ km/h}$ の時に $G\delta = 0.165$ とし、伝達関数 $G3 = Kt \cdot (3 + 13/s)$ であって車速 $20 \text{ km/h}$ の時に $Kt = 0.05$ 、車速 $60 \text{ km/h}$ の時に $Kt = 0.6$ 、車速 $100 \text{ km/h}$ の時に $Kt = 1.0$ とした。なお、操作用アクチュエータ19には遅れはないものとした。

【0027】図9の(1)～(3)、図10の(1)～(3)は、図11に示す比較例のシミュレーションモデルにおける、目標ヨーレート $\gamma^*$ に対するヨーレート $\gamma$ の周波数応答シミュレーションの一例を示すボード線図とナイキスト線図であり、図9の(1)～(3)は車速が $60 \text{ km/h}$ 時、図10の(1)～(3)は車速が $100 \text{ km/h}$ 時

※ $\delta h^*$ に追従するように操作用アクチュエータ19が制御される(ステップ9)。次に、制御を終了するか否かを、例えば車両のイグニッションスイッチがオンか否かにより判断し(ステップ10)、終了しない場合はステップ1に戻る。

【0025】上記構成における $K\gamma$ 、 $K\delta$ の設定例を説明する。目標ヨーレート $\gamma^*$ と実際の検出されるヨーレート $\gamma$ とが一致し、目標操作角 $\delta h^*$ と実際の検出される操作角 $\delta h$ とが一致している定常旋回状態では、上記の $\gamma^* = K\gamma \cdot (Kt \cdot T + \delta h)$ 、および $\delta h^* = K\delta \cdot (G_y/V + V_0 \cdot \gamma)$ の関係式から、以下の式(1)、(2)が成立する。

$$(1)$$

$$(2)$$

※2式を上記式(1)、(2)に代入すると以下の式(3)、(4)が成立する。

$$(3)$$

$$(4)$$

$0 \text{ km/h}$ 時の場合を示す。そのシミュレーションモデルにおいて、 $G$ は目標ヨーレート $\gamma^*$ と実際の車両のヨーレート $\gamma$ との偏差に対する舵角 $\delta$ の伝達関数であり、その伝達関数 $G$ は比例積分(PI)制御が行われるように設定され、ここでは $G = 0.1 + 5/s$ とされる。

【0028】図6の(1)、(2)、図7の(1)、(2)、図8の(1)、(2)のボード線図と、図9の(1)、(2)、図10の(1)、(2)のボード線図とを比較すると、本発明に基づき操作部材1に作用する負荷トルク $T$ を制御して目標ヨーレート $\gamma^*$ を設定した場合の操作トルク $T_h$ に対するヨーレート $\gamma$ の応答性は、そのような操作部材1に作用する負荷トルクを制御することなく設定された目標ヨーレート $\gamma^*$ に対するヨーレート $\gamma$ の応答性と殆ど差がない。すなわち、操作部材1に作用する負荷トルク $T$ を制御しても応答性を低下させることはない。一方、図6の(3)、図7の(3)、図8の(3)のナイキスト線図と、図9の(3)、図10の(3)のナイキスト線図とを比較すると、操作部材1に作用する負荷トルク $T$ の制御により安定性が大幅に向上している。

【0029】図12の(1)、(2)は、上記構成の操舵装置において、車速 $60 \text{ km/h}$ で走行する車両における時間 $t1 \sim t2$ ( $0.5 \sim 5$ 秒)間での $2.7 \text{ N} \cdot \text{m}$ の操作トルク $T_h$ のステップ入力に対するヨーレート $\gamma$ と目標ヨーレート $\gamma^*$ と舵角 $\delta$ と操作角 $\delta h$ の時間変化を示すシミュレーション結果の一例であり、車両と路面との間の摩擦係数は $t3$ ( $2.5$ 秒)までは $1$ とし、その後は $0.1$ とした。その摩擦係数の変化によりヨーレート $\gamma$ が低下した時、そのヨーレート $\gamma$ に対応する目標操作角 $\delta h^*$ と操作角 $\delta h$ の偏差をなくすように制御トルク $T_m$ を制御することで、操作角 $\delta h$ が小さくなる



ように修正され、ヨーレート $\gamma$ と目標ヨーレート $\gamma^*$ との偏差が拡大することなく、舵角の発散が防止されるのが示されている。

【0030】上記構成によれば、ドライバーにより入力される操作トルク $T_h$ に、操作用アクチュエータ19により出力される制御トルク $T_m$ を疊重した負荷トルク $T$ によって、操作部材1に操作角 $\delta h$ が生じる。その制御トルク $T_m$ は、その操作角 $\delta h$ と目標操作角 $\delta h^*$ との偏差をなくすように作用する。よって、その操作角 $\delta h$ が目標操作角 $\delta h^*$ に達していない場合、その制御トルク $T_m$ は操作部材1の操作補助力として作用し、目標操作角 $\delta h^*$ を超えている場合、その制御トルク $T_m$ は操作部材1の操作反力として作用する。また、その操作角 $\delta h$ と負荷トルク $T$ とに応じた目標ヨーレート $\gamma^*$ にヨーレート $\gamma$ が追従するように操舵用アクチュエータ2が制御される。その操舵用アクチュエータ2の制御によりヨーレート $\gamma$ と横加速度 $G_y$ とが変化する。そのヨーレート $\gamma$ と横加速度 $G_y$ に目標操作角 $\delta h^*$ が対応し、その操作角 $\delta h$ は目標ヨーレート $\gamma^*$ に対応する。よって、ヨーレート $\gamma$ が目標ヨーレート $\gamma^*$ に達していない場合、操作角 $\delta h$ は目標操作角 $\delta h^*$ を超えるので、上記のように操作反力が作用する。これにより、路面と車輪との間の摩擦係数の低下や、タイヤ横力が限界に至ったため、操作トルク $T_h$ を増大させてもヨーレート $\gamma$ が増加しない場合、操作反力を作用させることができる。この時、ドライバーが操作トルク $T_h$ をさらに増大させても、その操作反力の増大により操作トルク $T_h$ の増大を相殺でき、操作部材1に作用する負荷トルク $T$ を略一定に保つことができ、負荷トルク $T$ と操作角 $\delta h$ に応じた目標ヨーレート $\gamma^*$ が増大することはない。すなわち、その操作反力により操作角 $\delta h$ および負荷トルク $T$ 、ひいては目標ヨーレート $\gamma^*$ を抑制できるので、舵角 $\delta$ が発散するのを防止し、車両挙動を安定化させることができる。また、操舵用アクチュエータ2の作動遅れにより、ヨーレート $\gamma$ の目標ヨーレート $\gamma^*$ への追従遅れが生じた場合、やはり操作反力が作用するので、その操舵用アクチュエータ2の作動遅れによる違和感を緩和し、操舵フィーリングを向上できる。さらに、目標操作角 $\delta h^*$ に応じた制御において、低車速では横加速度の影響を大きくし、車速の増大に伴いヨーレートの影響を大きくすることで、低車速ではヨーレートが小さくなるという車両挙動特性に対応した制御を行うことができる。さらに、その目標操作角 $\delta h^*$ における横加速度 $G_y$ を車速 $V$ で除した値に対応する成分と、ヨーレート $\gamma$ の値に対応する成分とが等しくなる時の車速 $V_c$ が、クロスオーバー速度 $V_o$ を変更することで設定変更可能とされているので、より車両挙動特性に対応した制御を行うことができる。

【0031】本発明は上記実施形態に限定されない。例えば、設定車速以上では目標操作角をヨーレートのみ

応じて設定すると共に、ヨーレートが殆ど発生しない設定車速未満では目標舵角と目標操作角を操作角のみに応じて設定して操舵用アクチュエータと操作用アクチュエータとを制御してもよい。

【0032】

【発明の効果】本発明によれば、ステアバイワイヤシステムを採用した車両において、操作部材に作用するトルクを車両挙動に応じて制御し、そのトルクに応じて車両の目標ヨーレートを設定することで、車両挙動が不安定になったり操舵フィーリングが低下するのを防止する車両用操舵装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態の操舵装置の構成説明図

【図2】本発明の実施形態の操舵装置の制御ブロック線図

【図3】定常円旋回状態の車両状態を示す図

【図4】(1)はオーバーステア状態の横滑りした車両を示す図、(2)はアンダーステア状態の横滑りした車両を示す図

【図5】本発明の実施形態の操舵装置の制御手順を示すフローチャート

【図6】本発明の実施形態の操舵装置における車速が20km/時での操作トルク入力に対するヨーレートの応答を示す(1)、(2)はボード線図、(3)はナイキスト線図

【図7】本発明の実施形態の操舵装置における車速が60km/時での操作トルク入力に対するヨーレートの応答を示す(1)、(2)はボード線図、(3)はナイキスト線図

【図8】本発明の実施形態の操舵装置における車速が100km/時での操作トルク入力に対するヨーレートの応答を示す(1)、(2)はボード線図、(3)はナイキスト線図

【図9】比較例のシミュレーションモデルにおける車速が60km/時での目標ヨーレート $\gamma^*$ に対するヨーレート $\gamma$ の応答を示す(1)、(2)はボード線図、(3)はナイキスト線図

【図10】比較例のシミュレーションモデルにおける車速が100km/時での目標ヨーレート $\gamma^*$ に対するヨーレート $\gamma$ の応答を示す(1)、(2)はボード線図、(3)はナイキスト線図

【図11】比較例のシミュレーションモデルの制御ブロック線図

【図12】本発明の実施形態の操舵装置における操作トルクのステップ入力に対する(1)はヨーレートと目標ヨーレートの時間変化を示す図、(2)は舵角と操作部材の操作角の時間変化を示す図

【図13】従来の操舵装置の制御ブロック線図

【図14】従来の操舵装置における操作トルクのステップ入力に対する(1)はヨーレートと目標ヨーレートの



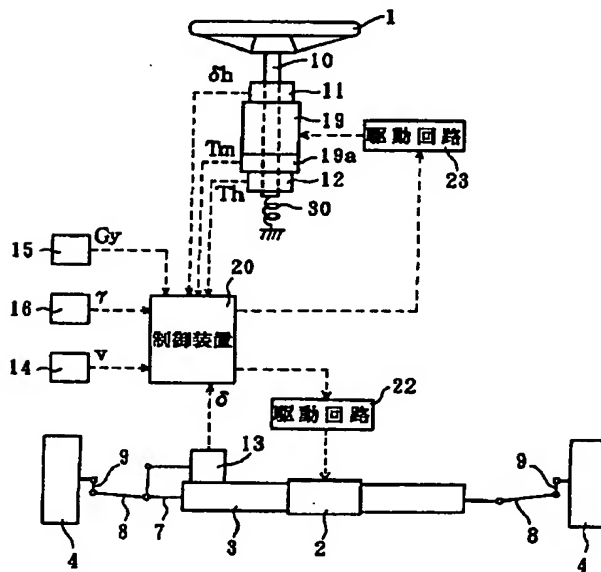
時間変化を示す図、(2)は舵角の時間変化を示す図  
 【図15】(1)、(2)は、従来のステアバイワイヤシステムを構成する操舵装置における車速が20km/時での操作トルク入力に対するヨーレートの応答を示すボード線図、(3)、(4)は、ステアリングホイールと車輪とが機械的に連結された操舵装置において、車速20km/時での操作トルク入力に対するヨーレートの応答を示すボード線図

【符号の説明】

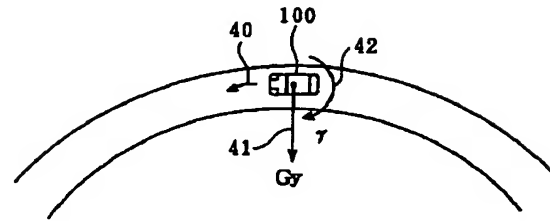
- 1 操作部材  
 2 操舵用アクチュエータ

- \* 3 ステアリングギヤ  
 4 車輪  
 11 角度センサ  
 12 トルクセンサ  
 13 舵角センサ  
 14 速度センサ  
 15 横加速度センサ  
 16 ヨーレートセンサ  
 19 操作用アクチュエータ  
 19a 電流センサ  
 \* 20 制御装置

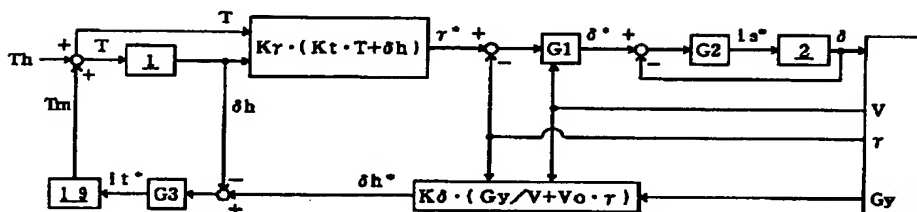
【図1】



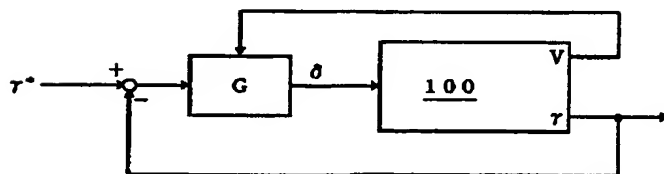
【図3】



【図2】

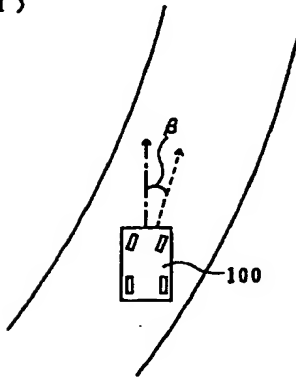


【図11】

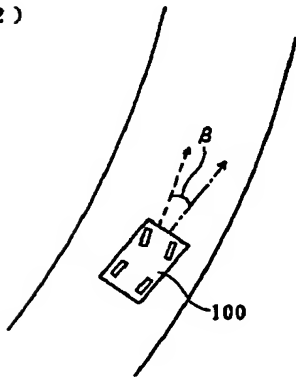


【図4】

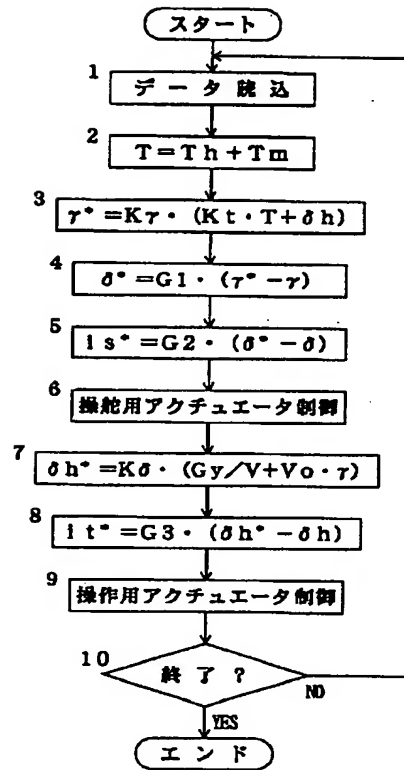
(1)



(2)

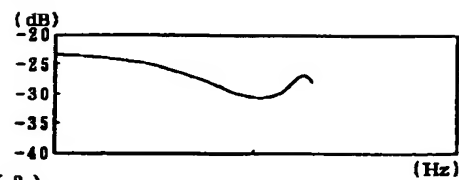


【図5】

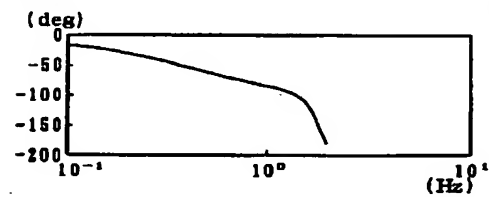


【図6】

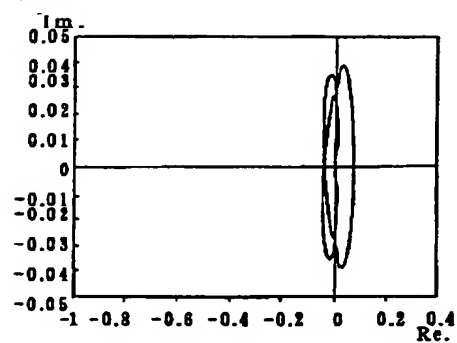
(1)



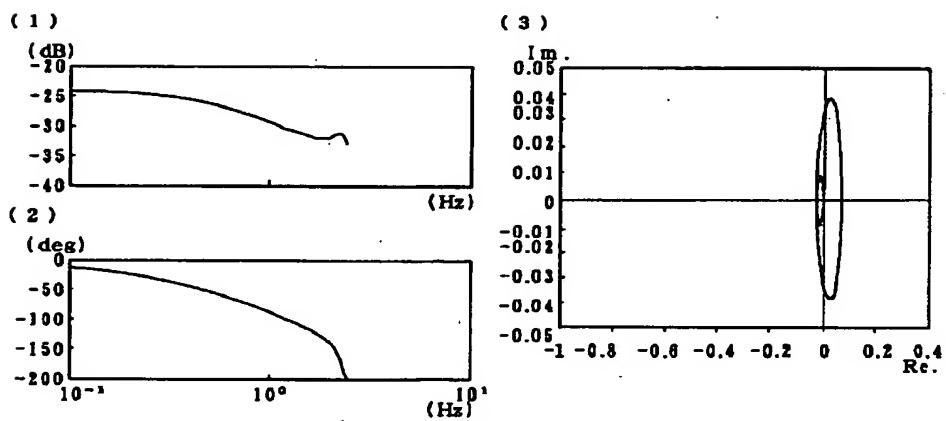
(2)



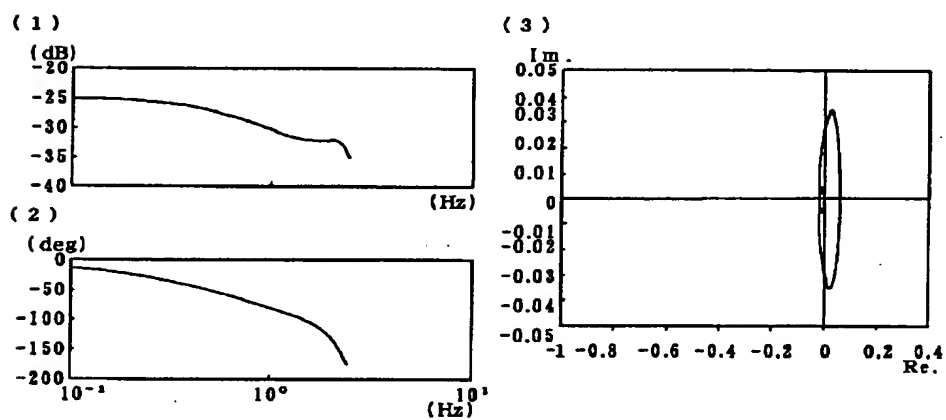
(3)



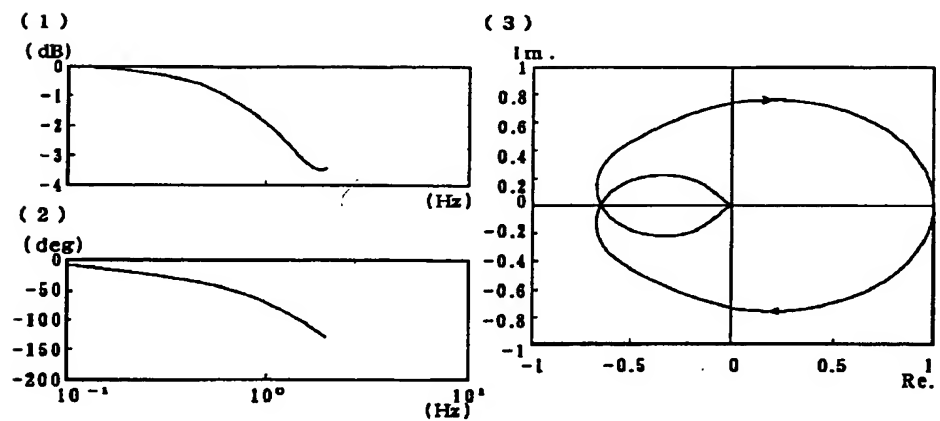
【図7】



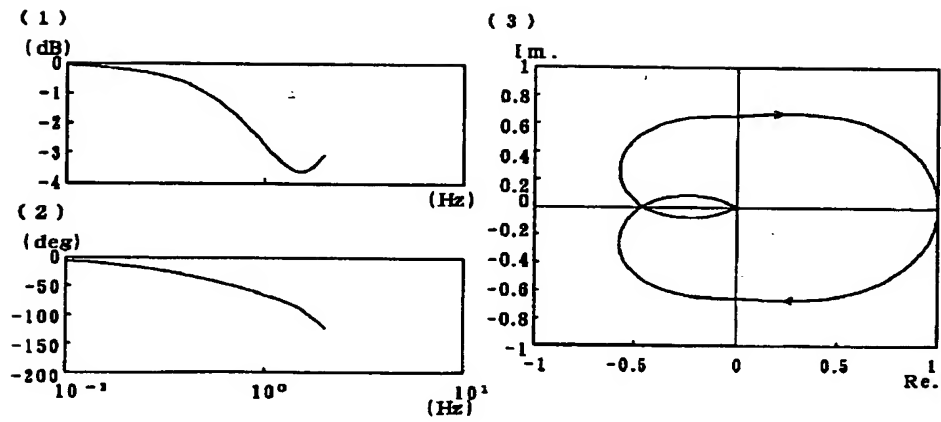
【図8】



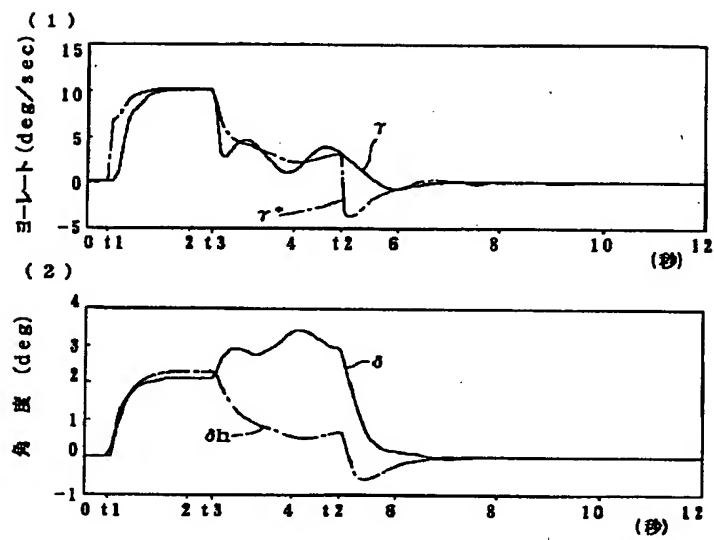
【図9】



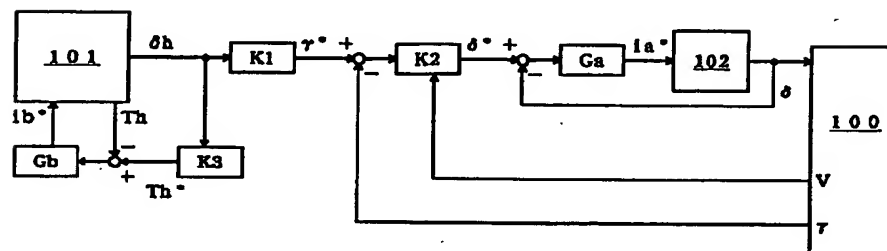
【図10】



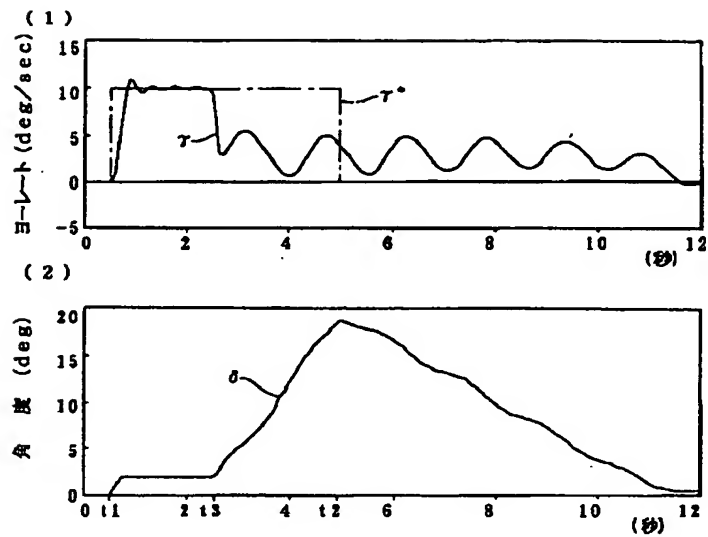
【図12】



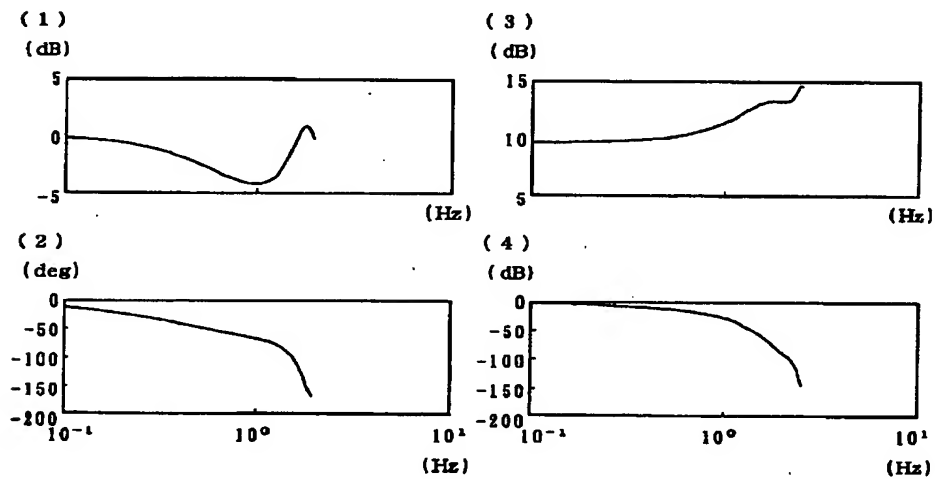
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
B 6 2 D 137:00

識別記号

F I  
B 6 2 D 137:00

キーワード(参考)

(72)発明者 高松 孝修  
大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号  
光洋精工株式会社内  
(72)発明者 瀬川 雅也  
大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号  
光洋精工株式会社内

Fターム(参考) 3D032 CC01 CC08 DA03 DA04 DA15  
DA23 DA29 DA33 DA39 DA64  
DA82 DB02 DB03 DC01 DC02  
DC03 DC09 DD02 DD06 DD07  
EA01 EB04 EB11 EB12 EB16  
EC23 EC29 GG01